

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-042766

(43)Date of publication of application : 13.02.2003

(51)Int.CI.

G01C 17/38
G01C 17/30
G01R 33/02

(21)Application number : 2001-229966

(71)Applicant : JAPAN AVIATION ELECTRONICS
INDUSTRY LTD

(22)Date of filing : 30.07.2001

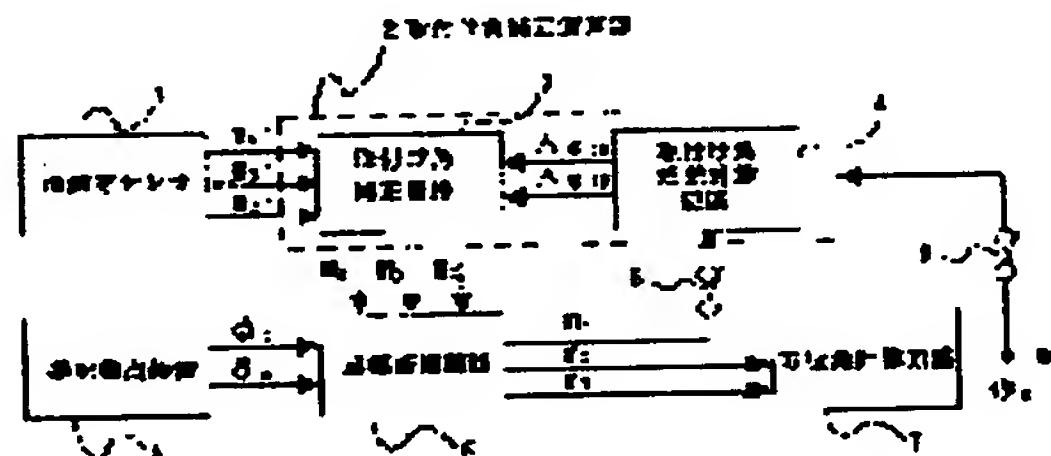
(72)Inventor : NONAKA SHOJI
HIGO TADASHI

(54) AZIMUTH MEASURING INSTRUMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To actualize a high-precision azimuth measuring instrument by correcting a fitting angle error between the direction of the input axis of a geomagnetic sensor and the direction of the reference axis of an attitude detecting device.

SOLUTION: This device comprises the geomagnetic sensor 1 which outputs geomagnetic data (m_x , m_y , m_z), the attitude detecting device 5 which outputs attitude data (pitch angle θ_S , roll angle φ_S) on a vehicle, a fitting angle correcting circuit 3, and a fitting angle error computing circuit 4. The device is equipped with a fitting angle correction arithmetic part 2 which computes corrected geomagnetic data (m_x , m_y , m_z) by making fitting angle error corrections of the geomagnetic data (m_x , m_y , m_z), a coordinate converting circuit 6 which performs the coordinate conversion of the geomagnetic data (m_x , m_y , m_z) into local horizontal coordinates (X , Y , Z) and outputs the geomagnetic data (m_X , m_Y , m_Z), and an azimuth computing circuit 7 which computes the azimuth ψ_c of the vehicle according to the geomagnetic data (m_X , m_Y , m_Z).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

[decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-42766

(P2003-42766A)

(43)公開日 平成15年2月13日 (2003.2.13)

(51)Int.Cl.
G 0 1 C 17/38
17/30
G 0 1 R 33/02

識別記号

F I
G 0 1 C 17/38
17/30
G 0 1 R 33/02

マークコード (参考)
K 2 G 0 1 7
A
L

審査請求 未請求 請求項の数 5 OL (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2001-229966(P2001-229966)

(22)出願日 平成13年7月30日 (2001.7.30)

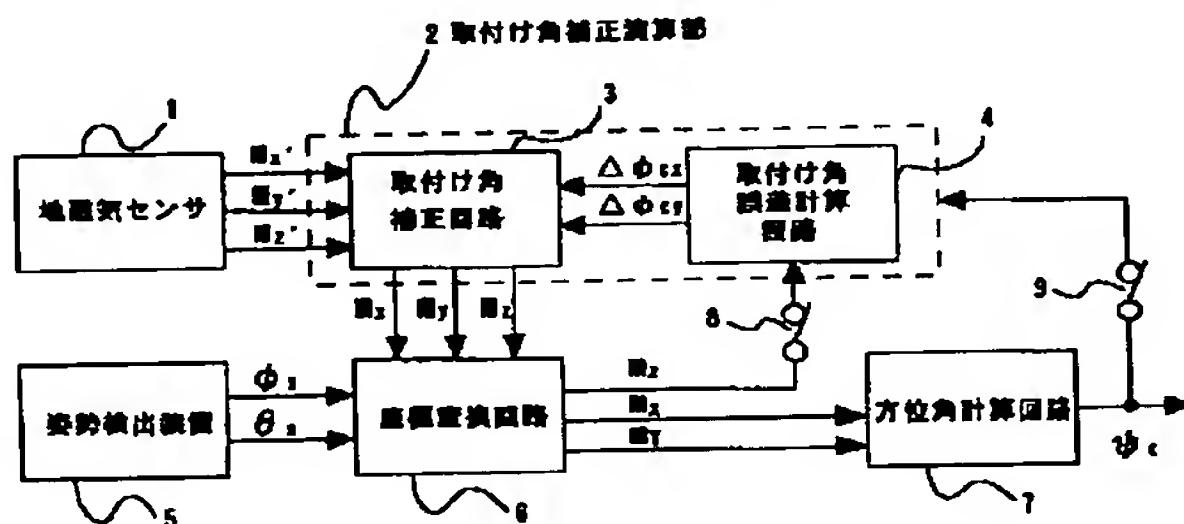
(71)出願人 000231073
日本航空電子工業株式会社
東京都渋谷区道玄坂1丁目21番2号
(72)発明者 野中 正二
東京都渋谷区道玄坂1丁目21番地2号 日
本航空電子工業株式会社内
(72)発明者 肥後 正
東京都渋谷区道玄坂1丁目21番地2号 日
本航空電子工業株式会社内
(74)代理人 100087790
弁理士 尾関 伸介
F ターム (参考) 2G017 AA03 AA16 BA10 BA15

(54)【発明の名称】 方位角計測装置

(57)【要約】

【課題】地磁気センサの入力軸の方向と、姿勢検出装置の基準軸の方向との間の取付け角誤差を補正し、高精度の方位角計測装置を実現する。

【解決手段】地磁気データ (m_x , m_y , m_z) を出力する地磁気センサ 1 と、車両の姿勢データ (ピッチ角 θ_s , ロール角 ϕ_s) を出力する姿勢検出装置 5 と、取付け角補正回路 3 および取付け角誤差計算回路 4 でなり、地磁気データ (m_x , m_y , m_z) に対し取付け角誤差補正を行い、補正された地磁気データ (m_x , m_y , m_z) を演算する取付け角補正演算部 2 と、姿勢データ (ピッチ角 θ_s , ロール角 ϕ_s) を用いて、地磁気データ (m_x , m_y , m_z) を局所水平座標 (X, Y, Z) に座標変換し、地磁気データ (m_x , m_y , m_z) を出力する座標変換回路 6 と、地磁気データ (m_x , m_y) に基づき車両の方位角 ψ を計算する方位角計算回路 7 を備えて構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】移動体の方位角を検出する地磁気センサより得られる地磁気データと、その姿勢を検出する姿勢検出装置より得られる姿勢データを用いて、該移動体の方位角を演算出力する方位角計測装置において、

前記地磁気センサの磁束入力軸と前記姿勢検出装置の基準軸との間に介在する取付け角誤差を計算し、該計算値を参照して前記地磁気データに対する取付け角補正を行って第1の補正地磁気データを生成する取付け角補正演算手段を備え、前記姿勢データを参照し、前記第1の補正地磁気データに対し姿勢補正を行って得られる第2の補正地磁気データを用いて、移動体の方位角を計算出力することを特徴とする方位角計測装置。

【請求項2】移動体の方位角を検出して地磁気データを出力する地磁気センサと、該移動体の姿勢を検出してその姿勢データを出力する姿勢検出装置と、前記地磁気データの入力を受けて、該地磁気データに対する取付け角補正を行って第1の補正地磁気データを生成する取付け角補正演算部と、前記第1の補正地磁気データの入力を受けて、前記姿勢データを介して、該第1の補正地磁気データを座標変換することにより第2の補正地磁気データを生成する座標変換回路と、前記第2の補正地磁気データに含まれる方位角計測に関わる地磁気補正データを用いて、移動体の方位角を計算して出力する方位角計算回路とを備えて構成され、

前記取付け角補正演算部は、前記方位角計算回路から出力される前記方位角と、前記第2の補正地磁気データの鉛直方向成分とを用いて、前記地磁気センサの入力軸と前記姿勢検出装置の基準軸とのずれ角度である取付け角誤差を計算し、前記地磁気データに対する前記取付け角補正を該取付け角誤差に基づき行うことを特徴とする方位角計測装置。

【請求項3】前記取付け角補正演算部は、前記方位角計算回路より出力される前記方位角と、前記第2の補正地磁気データの鉛直方向成分とを用いて前記取付け角誤差*

$$m_z = M_v + (\Delta \phi_z \sin \psi + \Delta \phi_y \cos \psi) M_h + \delta_z \dots \quad (11)$$

なる計算式に、前記移動体の1回転中に検出される m_z 及び ψ を適用し、最小二乗法により前記 $\Delta \phi_z$ 及び $\Delta \phi_y$ を計算することを特徴とする請求項4に記載の方位角計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、方位角計測装置に関する、特に方位角を計測する地磁気センサおよび姿勢検出装置により、車両、航空機などの移動体の方位角を計測する方位角計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】車両、航空機などの移動体に搭載される方位角計測装置は、地磁気センサおよび姿勢検出装置を備えている。車両に搭載される従来の方位角計測装置に

*を計算する取付け角誤差計算回路と、前記地磁気センサより入力される前記地磁気データを該取付け角誤差で補正し、前記第1の補正地磁気データを生成する取付け角補正回路とを備えてなる請求項2に記載の方位角計測装置。

【請求項4】互いに直交するX、Y及びZで規定され、Z軸が地球の重力方向にある直交座標系を局所水平座標系と称するとき、車両等の移動体に搭載した3軸型地磁気センサの出力を、該移動体に搭載した姿勢検出装置の

10 出力を参照して、座標変換手段により該局所水平座標系に座標変換し、座標変換された該3軸型地磁気センサの出力のX軸及びY軸成分から該移動体の方位角を計測する装置において、

前記移動体をほぼ水平な平面上で1回転させ、X軸が北、東、南および西を向いたときにおける座標変換された前記3軸型地磁気センサの出力のZ軸成分から、前記3軸型地磁気センサの入力軸と前記姿勢検出装置の基準軸との取付け角誤差を取付け角補正演算手段により計算し、該取付け角誤差に基づき前記3軸型地磁気センサの

20 出力を該取付け角補正演算手段により補正し、前記座標変換手段は前記取付け角補正演算手段により補正された該3軸型地磁気センサの出力を前記局所水平座標系に座標変換することを特徴とする方位角計測装置。

【請求項5】前記座標変換手段で座標変換をされた前記3軸型地磁気センサの出力のZ軸成分を m_z 、計測地点で決まる地磁気のZ軸成分を M_v 、計測地点で決まる地磁気の水平方向成分を M_h 、前記3軸型地磁気センサの出力のZ軸成分の誤差を δ_z 、前記基準軸が前記姿勢検出装置に固定されたx軸、y軸およびz軸の直交3軸であるとき、前記3軸型地磁気センサの入力軸と該姿勢検出装置の基準軸とのx軸に関する取付け角誤差を $\Delta \phi_z$ 、該3軸型地磁気センサの入力軸と該姿勢検出装置の基準軸とのy軸に関する取付け角誤差を $\Delta \phi_y$ 、計測された前記方位角を ψ とするとき、前記取付け角補正演算手段は、

$$m_z = M_v + (\Delta \phi_z \sin \psi + \Delta \phi_y \cos \psi) M_h + \delta_z \dots \quad (11)$$

についてまず述べる。この種の方位角計測装置においては、3軸型地磁気センサにより検出される地磁気成分を用いて車両の磁方位角を計測する際に、該車両が地球磁気に対し及ぼす影響、及び車両が傾いた場合の傾斜角による影響を補正することにより、方位角計測精度の改善が図られている。従来の方位角計測装置の一例（以下、第1の従来例と云う）の構成が、図2のブロック図に示される。

【0003】図2の従来例は、3軸型の地磁気センサ1と、姿勢検出装置5と、座標変換回路6と、方位角計算回路7とを備えてなる。3軸型地磁気センサ1は、互いに直交するx'軸、y'軸およびz'軸でなる座標系に関する地磁気を検出して、地磁気のx'軸成分（x'軸地磁気データという） $m_{x'}$ 、y'軸成分（y'軸地磁気

50 地磁気データという） $m_{y'}$ 、z'軸地磁気

データという) m_v 及び z' 軸成分 (z' 軸地磁気データという) m_z を出力する。 x' 軸、 y' 軸および z' 軸は、 地磁気センサ1に固定されており、 それぞれ地磁気センサ1の入力軸である。 姿勢検出装置5は、 互いに直交するX軸、 Y軸およびZ軸でなる座標系に関する車両の傾斜角を検出し、 ピッチ角 θ_s とロール角 ϕ_s を含む姿勢データを出力する。 X軸、 Y軸およびZ軸は、 姿勢検出装置5に固定されており、 それぞれ姿勢検出装置5の入力軸 (基準軸と称される) である。 座標変換回路6は、 地磁気データ m_x 、 m_v 及び m_z 並びにピッチ角 θ_s 及びロール角 ϕ_s を入力し、 地磁気センサ1の各軸の地磁気データ (m_x 、 m_v 、 m_z) を、 姿勢検出装置5の基準軸であるX軸及びY軸の成分に変換し、 姿勢検出装置5の基準座標系における地磁気データ (m_x 、 m_y) として出力する。 方位角計算回路7は、 座標変換回路6の地磁気データ (m_x 、 m_y) を入力し、 車両の方位角 ψ を計算し、 出力する。

【0004】図2の第1の従来例においては、 車両の傾きに対応する方位角計測の補正は明らかに行われてはいる。 その補正のためには、 車両の傾斜角を計測する姿勢検出装置5の基準軸の方向と地磁気センサ1の入力軸の方向とを正確に合致させること、 即ち姿勢検出装置5と地磁気センサ1との取り付け誤差 (ミスアライメント) をなくすることが必要である。 図2の従来の方位角計測装置では、 その取り付け誤差に関する補正は行われていない。

【0005】また、 他の方位角計測手段の従来例としては、 例えば、 姿勢検出方法及び装置 (以下、 第2の従来例と云う) が、 特開平8-178687号公報に開示されており、 また地磁気センサの補正装置 (以下、 第3の従来例と云う) が、 特開平9-304078号公報に開示されている。 前記第2の従来例は、 高価な可動部を有する測定器を用いることなく、 車両等の移動体の姿勢が傾いても、 該移動体の正確な方位角を検出することを目的とする。 第2の従来例は、 地磁気の磁束密度の変化により仮方位角を検出する地磁気検出手段と、 移動体がローリングするとロール角を検出するロール角検出手段と、 移動体のピッキングするときのピッチ角を検出するピッチ角検出手段と、 前記仮方位角を補正し、 前記ローリングおよびピッキングによる影響が排除された方位角を生成する地磁気方位補正手段とを備えて構成される。 地磁気方位補正手段においては、 前記ピッチ角と所定の第1係数を乗ずることにより、 前記仮方位角に対するピッチ角による第1補正量が決定され、 前記ロール角と所定の第2係数を乗ずることにより、 前記仮方位角に対するロール角による第2補正量が決定されて、 これらの第1補正量および第2補正量に基づいて前記仮方位角が補正される。

【0006】また、 前記第3の従来例は、 車両等の方位角を検出する磁気センサのキャリブレーションを、 振動

または外部磁界等の影響を最小限に止めて行うことができるようにして、 これにより地磁気センサの計測精度を高めることを意図したキャリブレーション手段の提供を目的としている。 本従来例においては、 姿勢検出装置の基準軸の方向と、 地磁気センサの入力軸の方向との間の取付け角誤差に対する補正処理に関するキャリブレーションについては一切触れていない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 上述した第1の従来例 (図2)においては、 前述したように、 車両の傾きに対応する方位角計測の補正は行われてはいる。 しかし、 第1の従来例では、 車両の傾斜角を計測する姿勢検出装置の基準軸の方向と地磁気センサの入力軸との間の方向の不一致度である取付け角誤差に対する補正是行われていない。 一般に、 車両等の移動体に取付けられる地磁気センサの入力軸と姿勢検出装置の基準軸との間には、 取付け角誤差 (ミスアライメント) が存在しており、 この取付け角誤差に対する補正なしでは、 正確に車両等の方位角を検出することは不可能である。 即ち、 第1の従来例においては、 地磁気センサの入力軸の方向と、 車両等の傾斜角を計測する姿勢検出装置の基準軸の方向との間の取付け角誤差に対する補正処理が行われていない故に、 車両等の方位角を正確に検出することができないという欠点がある。

【0008】また、 第2の従来例の姿勢検出装置においては、 移動体のローリングおよびピッキングに起因する前記地磁気センサの方位角検出誤差を補正する手段として、 該移動体のロール角およびピッチ角を検出する手段と、 これらのロール角とピッチ角の出力データを入力として、 地磁気センサにより検出された方位角を補正する地磁気方位補正手段が設けられている。 しかしながら、 第2の従来例の姿勢検出装置では、 第1の従来例の場合と同様に、 地磁気センサの入力軸と姿勢検出装置の入力基準軸との間の取付け角誤差に対する補正是行われていないので、 正確に車両等の方位角を検出することができない。 この点に関しては、 第3の従来例においても同様である。

【0009】本発明の目的は、 方位角を検出する地磁気センサの入力軸の方向と、 姿勢検出装置の基準軸の方向との間の取付け角誤差を補正し、 車両、 航空機などの移動体の方位角を正確に計測できる方位角計測装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】 前述の課題を解決するために本発明は次の手段を提供する。

【0011】 [1] 移動体の方位角を検出する地磁気センサより得られる地磁気データと、 その姿勢を検出する姿勢検出装置より得られる姿勢データを用いて、 該移動体の方位角を演算出力する方位角計測装置において、 前記地磁気センサの磁束入力軸と前記姿勢検出装置の基準

軸との間に介在する取付け角誤差を計算し、該計算値を参照して前記地磁気データに対する取付け角補正を行って第1の補正地磁気データを生成する取付け角補正演算手段を備え、前記姿勢データを参照し、前記第1の補正地磁気データに対し姿勢補正を行って得られる第2の補正地磁気データを用いて、移動体の方位角を計算出力することを特徴とする方位角計測装置。

【0012】[2] 移動体の方位角を検出して地磁気データを出力する地磁気センサと、該移動体の姿勢を検出してその姿勢データを出力する姿勢検出装置と、前記地磁気データの入力を受けて、該地磁気データに対する取付け角補正を行って第1の補正地磁気データを生成する取付け角補正演算部と、前記第1の補正地磁気データの入力を受けて、前記姿勢データを介して、該第1の補正地磁気データを座標変換することにより第2の補正地磁気データを生成する座標変換回路と、前記第2の補正地磁気データに含まれる方位角計測に関わる地磁気補正データを用いて、移動体の方位角を計算して出力する方位角計算回路とを備えて構成され、前記取付け角補正演算部は、前記方位角計算回路から出力される前記方位角と、前記第2の補正地磁気データの鉛直方向成分とを用いて、前記地磁気センサの入力軸と前記姿勢検出装置の基準軸とのずれ角度である取付け角誤差を計算し、前記地磁気データに対する前記取付け角補正を該取付け角誤差に基づき行うことを特徴とする方位角計測装置。

【0013】[3] 前記取付け角補正演算部は、前記方位角計算回路より出力される前記方位角と、前記第2の補正地磁気データの鉛直方向成分とを用いて前記取付け角誤差を計算する取付け角誤差計算回路と、前記地磁気センサより入力される前記地磁気データを該取付け角誤差で補正し、前記第1の補正地磁気データを生成する取付け角補正回路とを備えてなる前記[2]に記載の方位*

$$m_z = M_v + (\Delta\phi_x \sin\psi + \Delta\phi_y \cos\psi) M_h + \delta_z \dots \quad (11)$$

なる計算式に、前記移動体の1回転中に検出される m_z 及び ψ を適用し、最小二乗法により前記 $\Delta\phi_x$ 及び $\Delta\phi_y$ を計算することを特徴とする前記[4]に記載の方位角計測装置。

【0016】

【発明の実施の形態】次に、本発明について説明する。本発明の実施の形態は、移動体の方位角を検出する地磁気センサの地磁気データと、その姿勢を検出する姿勢検出装置の姿勢データを用いて、該移動体の方位角を演算出力する方位角計測装置において、前記地磁気センサの磁束入力軸と前記姿勢検出装置の基準軸との間の取付け角誤差を計算し、前記地磁気データに対する取付け角補正を行って第1の補正地磁気データを生成出力する取付け角補正演算手段を必須構成要件として備えており、前記第1の補正地磁気データに対し姿勢補正を行って得られる第2の補正地磁気データを用いて、移動体の方位角を演算出力することを特徴としている。

* 角計測装置。

【0014】[4] 互いに直交するX、Y及びZで規定され、Z軸が地球の重力方向にある直交座標系を局所水平座標系と称するとき、車両等の移動体に搭載した3軸型地磁気センサの出力を、該移動体に搭載した姿勢検出装置の出力を参照して、座標変換手段により該局所水平座標系に座標変換し、座標変換された該3軸型地磁気センサの出力のX軸及びY軸成分から該移動体の方位角を計測する装置において、前記移動体をほぼ水平な平面上で1回転させ、X軸が北、東、南および西を向いたときにおける座標変換された前記3軸型地磁気センサの出力のZ軸成分から、前記3軸型地磁気センサの入力軸と前記姿勢検出装置の基準軸との取付け角誤差を取付け角補正演算手段により計算し、該取付け角誤差に基づき前記3軸型地磁気センサの出力を該取付け角補正演算手段により補正し、前記座標変換手段は前記取付け角補正演算手段により補正された該3軸型地磁気センサの出力を前記局所水平座標系に座標変換することを特徴とする方位角計測装置。

【0015】[5] 前記座標変換手段で座標変換された前記3軸型地磁気センサの出力のZ軸成分を m_z 、計測地点で決まる地磁気のZ軸成分を M_v 、計測地点で決まる地磁気の水平方向成分を M_h 、前記3軸型地磁気センサの出力のZ軸成分の誤差を δ_z 、前記基準軸が前記姿勢検出装置に固定されたx軸、y軸およびz軸の直交3軸であるとき、前記3軸型地磁気センサの入力軸と該姿勢検出装置の基準軸とのx軸に関する取付け角誤差を $\Delta\phi_x$ 、該3軸型地磁気センサの入力軸と該姿勢検出装置の基準軸とのy軸に関する取付け角誤差を $\Delta\phi_y$ 、計測された前記方位角を ψ とするとき、前記取付け角補正演算手段は、

$$m_z = M_v + (\Delta\phi_x \sin\psi + \Delta\phi_y \cos\psi) M_h + \delta_z \dots \quad (11)$$

【0017】以下においては、本発明なる方位計測装置を車両に搭載する実施形態について図面を参照して説明する。

【0018】図1は、本実施の形態の構成を示すブロック図である。図1に示されるように、本実施の形態は、3軸型の地磁気センサ1と、姿勢検出装置5と、取付け角補正演算部2と、座標変換回路6と、方位角計算回路7と、スイッチ8、9とを備えてなる。取付け角補正演算部2は取付け角補正回路3および取付け角誤差計算回路4から構成されている。

【0019】3軸型地磁気センサ1は、互いに直交するx'軸、y'軸およびz'軸でなる座標系に関する地磁気を検出して、地磁気のx'軸成分(x'軸地磁気データという) $m_{x'}$ 、y'軸成分(y'軸地磁気データという) $m_{y'}$ 及びz'軸成分(z'軸地磁気データという) $m_{z'}$ を出力する。x'軸、y'軸およびz'軸は、地磁気センサ1に固定されており、それぞれ地磁気センサ1

の入力軸である。姿勢検出装置5は、互いに直交するX軸、Y軸およびZ軸でなる局所水平座標系（Z軸が鉛直方向）に関する車両の傾斜角を検出し、ピッチ角 θ_s とロール角 ϕ_s を含む姿勢データを出力する。x軸、y軸およびz軸は、姿勢検出装置5に固定されており、それぞれ姿勢検出装置5の入力軸（基準軸と称される）である。

【0020】取付け角補正演算部2は、地磁気センサ1の地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）に対する取付け角誤差補正を行い、前述のように、第1の補正地磁気データとして定義される地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）を出力する。

【0021】座標変換回路6は、取付け角補正演算部2から出力される第1の補正地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）並びに姿勢検出装置5から出力されるピッチ角 θ_s 及びロール角 ϕ_s を入力する。そして、座標変換回路6は、第1の補正地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）を、局所水平座標系X軸、Y軸及びZ軸の成分に変換し、局所水平座標系における地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）を生成し、地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）を第2の補正地磁気データとして定義し、出力する。方位角計算回路7は、座標変換回路6から出力される第2の補正地磁気データにおける（ m_x 、 m_y ）を入力し、車両の方位角 ψ を計算し、出力する。

【0022】座標変換回路6から出力される第2の補正地磁気データのZ軸成分 m_z は、スイッチ8を介して、取付け角誤差計算回路4に入力される。また、方位角計算回路7から出力される方位角 ψ は、スイッチ9を介して、取付け角誤差計算回路4に入力される。

【0023】取付け角誤差計算回路4においては、第2の補正地磁気データのZ軸成分 m_z および方位角 ψ の入力を受けて、地磁気センサ1の入力軸と姿勢検出装置5の基準軸との間に存在する取付け角誤差に対する補正值 $\Delta\phi_{ex}$ 、 $\Delta\phi_{ey}$ および $\Delta\phi_{ez}$ が計算され、その取付け角誤差補正值の内の $\Delta\phi_{ex}$ および $\Delta\phi_{ey}$ が抽出されて、取付け角補正回路3に入力される（ $\Delta\phi_{ex}$ は、本発明の*

*対象外）。取付け角補正回路3においては、この取付け角誤差補正值 $\Delta\phi_{ex}$ および $\Delta\phi_{ey}$ の入力を受けて、前述のように、該補正值を介して地磁気センサ1より入力される地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）に対する取付け角誤差補正が行われ、地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）が出力される。スイッチ8および9は、方位角計測装置の運用状態によりオン／オフされるスイッチであり、地磁気センサ1の入力軸と姿勢検出装置5の基準軸との間の取付け角誤差を計算する場合以外は、これらのスイッチはオフに設定される。

【0024】次に、本実施の形態において、各部において行われる演算処理の内容を数式を用いて説明する。本実施の形態の方位角計測装置を搭載する車両においては、方位の基準を磁北とし、磁北の方位角 ψ は0である。姿勢検出装置5の姿勢は、方位角が ψ 、ピッチ角が θ 、ロール角が ϕ であるとする。姿勢検出装置5に固定された座標系（ x 、 y 、 z ）の各軸を車両の基準軸とする。したがって、車両の方位角 ψ 、ピッチ角 θ 及びロール角 ϕ はそれぞれ姿勢検出装置5の方位角 ψ 、ピッチ角 θ 及びロール角 ϕ である。地磁気センサ1は、その基準軸（ x 、 y 、 z ）に対して、それぞれ x 軸回りに $\Delta\phi_x$ 、 y 軸回りに $\Delta\phi_y$ 、 z 軸回りに $\Delta\phi_z$ の取付け角誤差が存在する状態で取付けられているものとする。この取付け状態における地磁気センサ1の入力軸の座標系（ x' 、 y' 、 z' ）と、姿勢検出装置5の基準軸の座標系（ x 、 y 、 z ）との間の取付け角誤差を定義する図が、図3に示される。

【0025】図1において、地磁気センサ1から出力される地磁気データ（ m_x 、 m_y 、 m_z ）は、 M_h および M_v を計測点における地磁気の水平成分および鉛直成分とし、 δ_x 、 δ_y および δ_z を外部磁界の影響等による地磁気センサ1の各軸の誤差とし、 C^T を行列Cの転置行列として、次式のように表わすことができる（地磁気センサのスケールファクタは、予め調整されていて誤差は無視できるものとする）。

$$\begin{bmatrix} m_x' \\ m_y' \\ m_z' \end{bmatrix} = \Delta C C^T \begin{bmatrix} M_h \\ 0 \\ M_v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x' \\ \delta_y' \\ \delta_z' \end{bmatrix} \quad \dots \quad (1)$$

m_x' 、 m_y' 、 m_z' ：地磁気センサ各軸出力

M_h ：計測点における地磁気の水平成分

M_v ：計測点における地磁気の鉛直成分

δ_x' 、 δ_y' 、 δ_z' ：地磁気センサ各軸誤差（外部磁界の影響等）

C^T ：Cの転置行列

9

ゆ：姿勢検出装置の実際のロール角

8：姿勢検出装置の実際のピッチ角

ゆ：姿勢検出装置の実際の磁北基準方位角

$\Delta\phi_x$, $\Delta\phi_y$, $\Delta\phi_z$: 姿勢検出装置に対する
地磁気センサの取付け角誤差
(姿勢検出装置の x , y , z 軸回り)

【0026】地磁気センサ1と姿勢検出装置5の取付け角誤差が計算される前の状態においては、該取付け角誤差による補正值は0であり、このときの座標変換に使用される地磁気データ(m_x , m_y , m_z)は、地磁気センサ1より出力される地磁気データ(m_{x1} , m_{y1} , m_{z1})と等しい。

* m_z .) に等しい。従って、座標変換回路6においては、
 20 これら地磁気データに対する座標変換が次式によって
 行われ、方位角 ψ を計算するための地磁気データ (m_x ,
 m_y , m_z) が output される。

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = C_s \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = C_s \begin{bmatrix} m_x' \\ m_y' \\ m_z' \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$C_s = \begin{pmatrix} \cos \theta_s & \sin \phi_s \sin \theta_s & \cos \phi_s \sin \theta_s \\ 0 & \cos \phi_s & -\sin \phi_s \\ -\sin \theta_s & \sin \phi_s \cos \theta_s & \cos \phi_s \cos \theta_s \end{pmatrix} \dots \dots \dots (2a)$$

ϕ_s : 姿勢検出装置から出力されるロール角

θ_s : 姿勢検出装置から出力されるピッチ角

【0027】車両の方位角 ψ は、方位角計算回路7に (m_x, m_y) を用いて次式により計算される。
 おいて、(2)式によって得られる地磁気データ (m_x, m_y)

$$\psi_c = \tan^{-1} (-m_y/m_x) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

【0028】地磁気センサ1において、外部磁界の影響等に起因して生じるバイアス誤差は、別の方法により補正されているものとして、姿勢検出装置5において検出される姿勢データ（θ、φ）にも誤差が存在せず、

$$m_x = M_h \cos \psi$$

【0029】この(4)式から、方位角 ψ_c は、 $\psi_c = \psi$ として求められるが、取付け角誤差が存在する場合には、必然的に方位角計算回路7における方位角計算値に誤差が含まれることになる。そこで、取付け角補正演算部2において、地磁気センサ1の地磁気データ(m_x , m_y , m_z)に対して、以下のように取付け角誤差補正

行列を掛けることにより、取付け角誤差の影響を除くことができる。

【0030】取付け角誤差がある場合には、地磁気センサ1の地磁気データ(m_x , m_y , m_z)は、下記の(5)式のように表わされる。

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix}^{11} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta\phi_z & -\Delta\phi_y \\ -\Delta\phi_z & 1 & \Delta\phi_x \\ \Delta\phi_y & -\Delta\phi_x & 1 \end{bmatrix} C^T \begin{bmatrix} M_h \\ 0 \\ M_v \end{bmatrix} \dots \dots \dots (5)$$

【0031】上式の地磁気データ (m_x , m_y , m_z) * (m_x' , m_y' , m_z') は、次式のように表わされ、取付に、補正行列 C_c を掛けた結果得られる地磁気データ * かけ角補正回路3で演算される。

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = C_c \begin{bmatrix} m_x' \\ m_y' \\ m_z' \end{bmatrix} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、上式の補正行列 C_c を取付け誤差補正行列として、以下のように構成する。※

$$C_c = \begin{bmatrix} 1 & \Delta\phi_{cz} & -\Delta\phi_{cy} \\ -\Delta\phi_{cz} & 1 & \Delta\phi_{cx} \\ \Delta\phi_{cy} & -\Delta\phi_{cx} & 1 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (7)$$

$\Delta\phi_{cz}$, $\Delta\phi_{cy}$, $\Delta\phi_{cx}$: 取付け角誤差計算により計算される補正值
($\Delta\phi_{cz}$ の算出方法は、本発明に含まれない)

【0033】上式において、 $\Delta\phi_{cx}$, $\Delta\phi_{cy}$ および $\Delta\phi_{cz}$ は、前述のように、取付け角誤差計算回路4において計算された取付け角誤差に対する補正值である。これらが正しく計算されると、 $\Delta\phi_{cx} = \Delta\phi_x$, $\Delta\phi_{cy} = \Delta\phi_y$, $\Delta\phi_{cz} = \Delta\phi_z$ となり、取付け角誤差の2★

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = C^T \begin{bmatrix} M_h \\ 0 \\ M_v \end{bmatrix} \dots \dots \dots (8)$$

【0034】以下においては、取付け角誤差計算回路4において行われる取付け角誤差補正值 $\Delta\phi_{cx}$ および $\Delta\phi_{cy}$ の計算方法について説明する。前述したように、取付け角誤差が存在する状態で、誤差補正をしないで姿勢検出装置5の姿勢データ（誤差はないものとする）を参照★

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = C_s \begin{bmatrix} m_x' \\ m_y' \\ m_z' \end{bmatrix} = C_s \{ \Delta C C^T \begin{bmatrix} M_h \\ 0 \\ M_v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{bmatrix} \} \dots \dots \dots (9)$$

【0035】上式を展開して、取付け角誤差計算回路4に入力されるZ軸成分 m_z を表わすと次式のようになる。◆40

$$m_z = M_v + \{ \Delta\phi_x \cos\theta \sin\psi + \Delta\phi_y (\cos\phi \cos\psi + \sin\phi \sin\theta \sin\psi) + \Delta\phi_z (-\sin\phi \cos\psi + \cos\phi \sin\theta \sin\psi) \} M_h - \delta_x \sin\theta + \delta_y \sin\phi \cos\theta + \delta_z \cos\phi \cos\theta \dots \dots (10)$$

【0036】取付け角誤差計算回路4において、補正值を計算する際のZ軸成分 m_z の計測を、ロール角 ϕ 、ピッチ角 θ がゼロに近い水平面内で行うものとすると、上*

$$m_z = M_v + (\Delta\phi_x \sin\psi + \Delta\phi_y \cos\psi) M_h + \delta_z \dots \dots (11)$$

【0037】そして、北、東、南および西の各方位を向いた時のZ軸成分 m_z の値を、それぞれ m_{za} , m_{ze} , m_{ns} 50 とすると、これらの値は次式によって与えられる。

★乘項を微小値として無視するものとすれば、近似的に下記の(8)式が得られて、取付け角補正回路3からは、取付け角誤差の影響が除かれた地磁気データ (m_x , m_y , m_z) が生成されて出力される。

☆し、地磁気センサの地磁気データ (m_x , m_y , m_z) を座標変換すると、方位角 ψ を計算するための地磁気データ (m_x , m_y , m_z) は、次式のように表わされる。

*式において、 $\sin\phi$ と $\sin\theta$ は共にゼロとなり、 $\cos\phi$ と $\cos\theta$ は共に1となって、Z軸成分 m_z は次式のように表わされる。

$$m_z = M_h + \delta_z \dots \dots (11)$$

13

$$\begin{aligned}
 \text{(北向)} \quad m_{zn} &= M_v + \Delta\phi_x \cdot M_h + \delta_z \\
 \text{(東向)} \quad m_{ze} &= M_v + \Delta\phi_x \cdot M_h + \delta_z \\
 \text{(南向)} \quad m_{zs} &= M_v - \Delta\phi_x \cdot M_h + \delta_z \\
 \text{(西向)} \quad m_{zw} &= M_v - \Delta\phi_x \cdot M_h + \delta_z
 \end{aligned} \quad \dots \dots \quad (12)$$

14

【0038】この(12)式を用いて、取付け角誤差 $\Delta\phi_x$ *できる。

ϕ_x および $\Delta\phi_x$ は、次式のようにして計算することが*

$$\begin{aligned}
 \Delta\phi_x &= 1/2 (m_{ze} - m_{zw}) / M_h \\
 \Delta\phi_y &= 1/2 (m_{zn} - m_{zs}) / M_h
 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

【0039】また、車両の方位を1回転させた際に向いた、各方位 $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$ におけるZ軸成分 m_z の値を $m_{z1}, m_{z2}, \dots, m_{zn}$ とする *

$$\begin{bmatrix} m_{z1} \\ m_{z2} \\ \vdots \\ m_{zn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\psi_1 & \cos\psi_1 & 1 \\ \sin\psi_2 & \cos\psi_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sin\psi_n & \cos\psi_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\phi_x \cdot M_h \\ \Delta\phi_y \cdot M_h \\ M_v + \delta_z \end{bmatrix} \quad \dots \dots \quad (14)$$

※と、これらの両者間の関係は次式の行列式によって表わすことができる。

【0040】上式を、 $M=HE$ の式に当てはめると、取付け角誤差 $\Delta\phi_x$ および $\Delta\phi_y$ は、最小二乗法により下★ できる。

$$E = (H^T H)^{-1} H^T M \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

$$\Delta\phi_x = e_1 / M_h \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

(e_1, e_2 は、Eの第1、第2要素)

【0041】以上に説明した本実施の形態の方位角計測装置において、地磁気センサ1の入力軸と姿勢検出装置5の基準軸との間に取付け角誤差が存在する状態においても、該取付け角誤差を補正することにより、その影響を受けることなく正確に車両の方位を計測することができる。この実施の形態では、車両の傾斜を計測する姿勢検出装置(姿勢角センサ等)の基準軸と地磁気センサの入力軸の方向を機械的に正確に合わせなくても、取付け角補正演算部2における補正により正確な方位角を計算できる。また、この補正においては、車両をジャッキアップ等により傾けることなく、取付け角誤差を演算できる。さらに、この補正は、車両が磁気を帯びている等により地磁気センサ1の出力に誤差があっても、取付け角誤差は演算できる。また、最小二乗法により地磁気センサの出力を処理すれば、地磁気センサの出力にノイズがあっても、ノイズの影響を受けることなく、取付け角誤差を演算できる。

【0042】なお、実施の形態を挙げ本発明を具体的に説明したが、本発明がこの実施の形態に限定されないことは勿論である。また、実施の形態は車両に搭載する方位角計測装置であったが、本発明の方位角計測装置は、航空機や船舶といった他の移動体にも搭載できる。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、

30

移動体に搭載され、方位角を計測する地磁気センサと姿勢を検出する姿勢検出装置により、該移動体の方位角を計測する方位角計測装置に適用されて、移動体の傾斜度に対応する補正に加えて、地磁気センサの入力軸の方向と、姿勢検出装置の基準軸の方向との間の取付け角誤差を演算処理を介して補正することにより、移動体の方位角を高精度で計測できるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態を示すブロック図である。

【図2】従来例を示すブロック図である。

【図3】地磁気センサと姿勢検出装置の取付け角誤差を定義する図である。

【符号の説明】

- 1 地磁気センサ
- 2 取付け角補正演算部
- 3 取付け角補正回路
- 4 取付け角誤差計算回路
- 5 姿勢検出装置
- 6 座標変換回路
- 7 方位角計算回路
- 8, 9 スイッチ

x', y', z' 3軸型地磁気センサ1に固定された直交座標軸

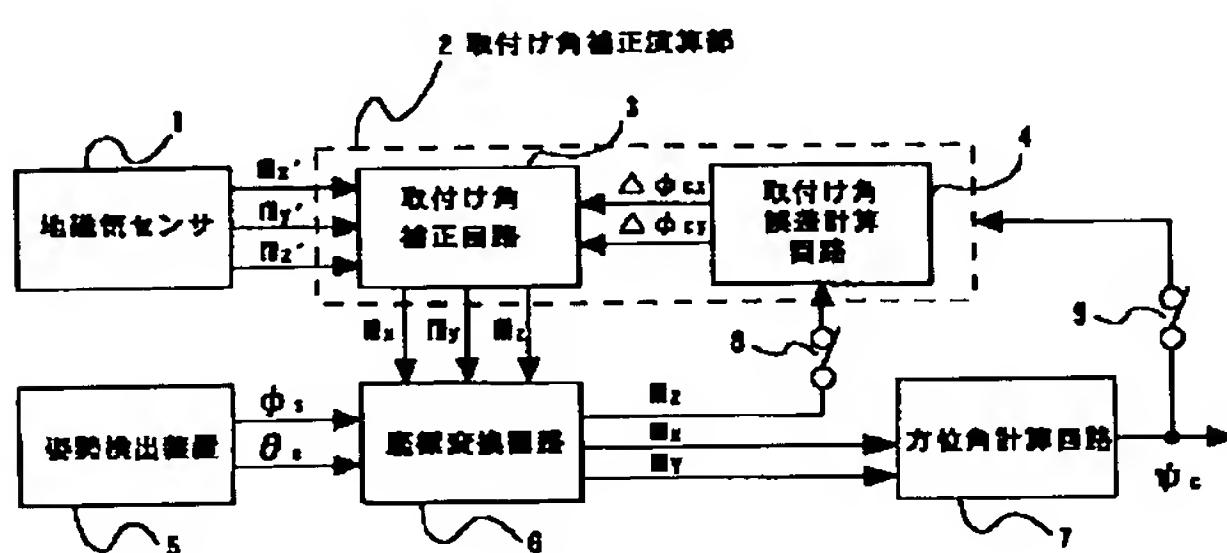
50

m_x : x' 軸地磁気データ
 m_y : y' 軸地磁気データ
 m_z : z' 軸地磁気データ
 x, y, z : 姿勢検出装置5に固定された直交座標軸
 m_x : 姿勢検出装置5の基準軸座標系のX軸における地磁気データ
 m_y : 姿勢検出装置5の基準軸座標系のY軸における地磁気データ

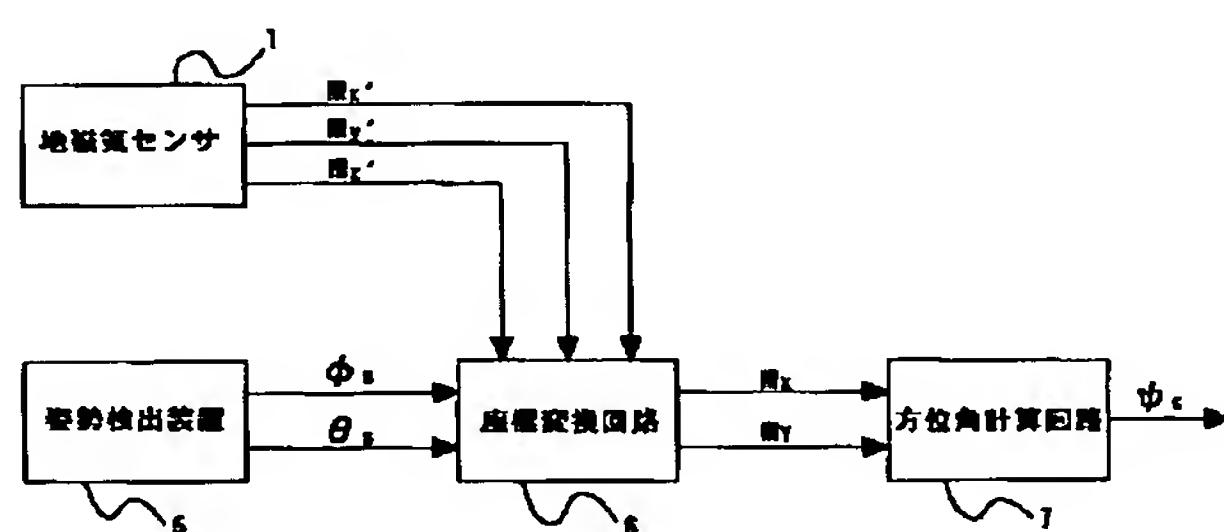
*

m_z : 姿勢検出装置5の基準軸座標系のZ軸における地磁気データ
 θ_s : 姿勢検出装置5で検出されたピッチ角
 ϕ_s : 姿勢検出装置5で検出されたロール角
 ψ_c : 方位角計算回路7で計算された車両の方位角
 X, Y, Z : 局所水平座標系 (Z軸を鉛直方向とする)

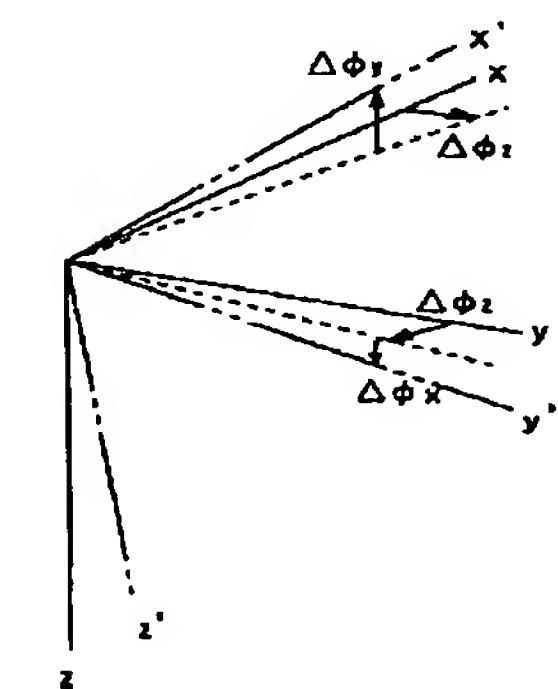
【図1】



【図2】



【図3】



x, y, z : 姿勢検出装置基準軸
 x', y', z' : 地磁気センサ入力軸